

APLICAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID SUBSTITUINDO FONTE DE ENERGIA GERADOR A DIESEL EM UMA CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

José Arimatéia de Albuquerque Ângelo (Universo Recife) ari.angelo@gmail.com

Antônio Machado de Souza Neto (Universo Recife) machado-axe@hotmail.com

1 Introdução

As fontes alternativas de energia, possibilitam de forma limpa e sustentável a realização de processos a solucionar desafios, pois em um determinado período de tempo, utilizou-se de forma inadequada a geração de uma energia poluente, e interrompida para atender inicialmente o funcionamento operacional de uma empresa no ramo de Tratamento de Resíduos Sólidos. Essa medida adotada foi a solução encontrada no momento por motivo da localidade não possuir distribuição de rede de energia elétrica da concessionária Celpe. Uma forma, de melhorar esse fornecimento de energia, seria através da energia solar fotovoltaica, pois suas características como fonte primária é apenas a energia gerada pelos painéis solares, acoplado por um sistema de armazenamento da energia captada, geralmente um banco de baterias que garantem o fornecimento de energia durante a noite ou em períodos com baixa incidência solar.

Uma das formas de energia solar são, as instalações fotovoltaicas *off-grid*, que é um sistema autônomo ou isolado da rede, analogamente, existem outros modelos de circuitos existentes nesta fonte alternativa de energia. Portanto esta foi a opção aplicada por possuir cargas de potências reduzidas, por serem destinadas principalmente a instalações de iluminação, bombeamento de água, refrigeração e outros circuitos eletrônicos em locais que não é atendida por concessionárias de energia elétrica, sendo sua maior parte, zona rural.

Em suma, esse sistema apresenta uma proposta para fornecer com eficiência uma energia limpa, tendo como objetivos específicos apresentar a substituição do sistema que funcionou durante um tempo com um motor gerador a diesel de 55 kva, e o objeto aplicado através dos conhecimentos aplicados em sala de aula em fontes alternativas de energia durante o curso, a energia solar fotovoltaica foi indubitavelmente uma opção em atender e apresentar resultados alcançados com a substituição do sistema.

2 Teórico Referencial

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula

fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (Imhoff, 2007). Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, que ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Complementando esta informação (NASCIMENTO, 2014), afirma que uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “Efeito fotovoltaico”.

2.1 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos ou Isolado (*Off Grid*)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica convencional. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Diante disso, o modelo a ser tratado neste trabalho é com armazenamento por baterias, pois havia a necessidade de manter o fornecimento da energia mesmo com a baixa incidência de luz solar.

2.2 Componentes Fotovoltaicos e Equipamentos auxiliares

Para o funcionamento de um sistema fotovoltaico segundo Schuch (2010, p. 18) é necessário a instalação de equipamentos auxiliares em conjunto com os módulos fotovoltaicos. Esses componentes atuarão, principalmente, no processo de armazenamento e distribuição da energia elétrica gerada. Nas subseções a seguir serão apresentados esses componentes e suas características de funcionamento.

2.2.1 Painel Solar Fotovoltaico

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011), conforme mostrado na figura 1, a seguir.

Figura 1 – Painel Solar Fotovoltaico



Fonte: Messenger & Ventre, 2010

O cálculo para obter a capacidade mínima de geração dos painéis, segundo Dazcal e Mello, 2008, é dado pelas fórmulas:

$$SP = \frac{\text{radiação diária do local } KWh/m^2}{1Kw/m^2} \quad (\text{fórmula 1})$$

$SP = \text{Sol pleno}$

$$P_{min} = \frac{\text{consumo } Wh}{\text{radiação mínima do local } h} = \text{potência } W \quad (\text{fórmula 2})$$

E a potência mínima corrigida considerando as perdas é:

$$P_{min \text{ Corr}} = \frac{\text{potência mínima } W}{(0,98 \times 0,95 \times 0,85 \times 0,9)} \quad (\text{fórmula 3})$$

2.2.2. Controlador de Carga

Também chamado de regulador de carga, este componente é, geralmente, utilizado em sistemas off grid, ou seja, que empregam o uso de baterias para o armazenamento de energia. De acordo com Pereira & Oliveira (2011), os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência.

O **controlador de carga solar** deve ser ligado entre o painel solar e a bateria, este age como um gerenciador de carga e descarga das baterias otimizando estes processos. Sua função é mantê-las em regime de flutuação após atingir a carga total e impedir a descarga excessiva da bateria, mantendo-a assim, dentro de condições ideais de funcionamento, conforme mostrado na figura 2, a seguir.

Figura 2 – Controlador de Carga



Fonte: Messenger & Ventre, 2010

2.2.3 Baterias

As baterias, ou acumuladores, entre os diversos sistemas, são mais utilizadas naqueles isolados da rede elétrica, ou seja, *off grid*. Segundo Dazcal & Mello (2008), são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados.

Será necessário obter dados para calcular a corrente de carga diária segundo Dazcal e Mello, 2008 assim ter o número de baterias a ser utilizada no sistema, conforme as fórmulas, a seguir.

$$I_{dia} = \frac{\text{consumo Wh}}{\text{tensão CC inversor}} \quad (\text{fórmula 4})$$

$$I \text{ corrente total} = \frac{\text{consumo Ah} \times \text{autonomia (2 dias)}}{\text{profundidade descarga (0,35)}} \quad (\text{fórmula 5})$$

Segundo Copetti & Macagnan (2014, p.8), “a bateria para aplicações FV deve apresentar como principais características: capacidade de ciclagem, alta eficiência energética, longa vida útil, pouca manutenção e baixo custo”. São vários os tipos de baterias existentes, distinguindo-se devido às células empregadas, as quais influenciam diretamente na eficiência de armazenamento. Considerando o fato de que nem todos os modelos são economicamente

viáveis, Messenger & Ventre (2010) apresentam as baterias de chumbo-ácido como o tipo, até hoje, mais utilizado para os sistemas fotovoltaicos, conforme mostrado na figura 3, a seguir.

Figura 3 – Baterias Estacionárias



Fonte: Messenger & Ventre, 2010

2.2.4 Inversores

Os inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO & GALDINO, 2014). De acordo com Pereira & Oliveira (2011), a energia elétrica na saída dos módulos fotovoltaicos é em corrente contínua (CC). Isto inviabiliza a sua aplicação direta na maioria dos equipamentos que trabalham, somente, em corrente alternada (CA). Para a solução deste problema, empregam-se os inversores, capazes de realizar a conversão desta tensão contínua para um valor de tensão em CA. Além disso, este equipamento é capaz de ajustar a frequência e nível de tensão gerada, para que o sistema possa ser conectado à rede pública, *on grid*, de acordo com as normas vigentes estabelecidas pela Aneel, conforme mostrado na figura 4, a seguir.

Figura 4 – Inversores CC / CA

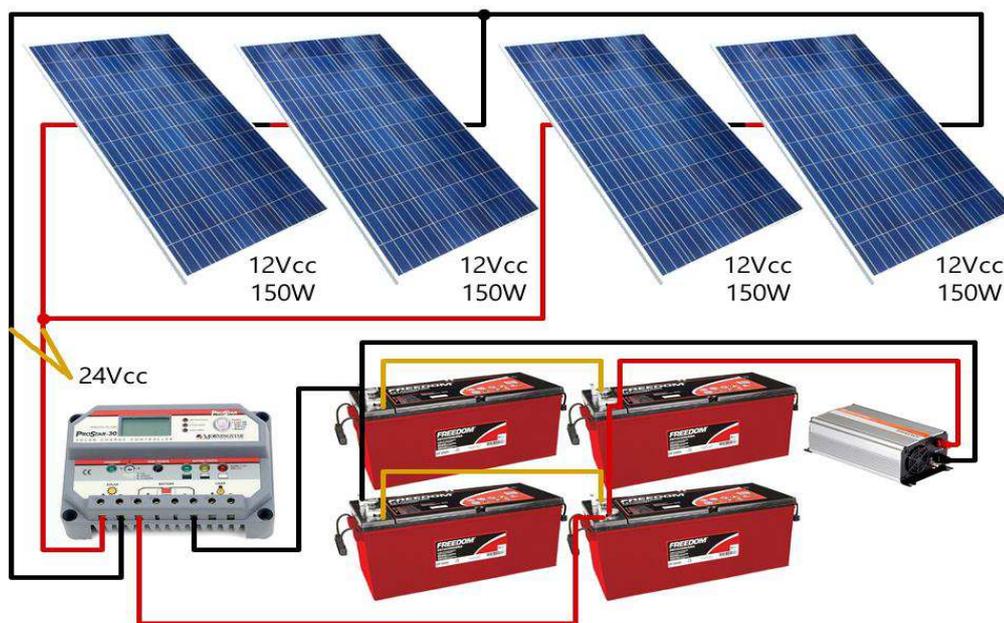


Fonte: Neosolar, 2016

2.3 Conjunto do Sistema Fotovoltaico e Diagrama

Após especificar e caracterizar individualmente todos componentes que formam a instalação de um sistema fotovoltaico *Off Grid*, e observar as figuras 1, 2, 3 e 4 é apresentado o diagrama do esquema completo, conforme mostra a figura 5, a seguir.

Figura 5 – Diagrama sistema fotovoltaico em série e paralelo



Fonte: Neosolar, 2016

Apresentou-se neste capítulo o embasamento teórico dos componentes necessário da transformação da energia solar através dos painéis, passando pelo controlador de carga, sendo convertido de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) através do inversor de tensão. No capítulo seguinte apresenta-se o método para atingimento do objeto proposto por este trabalho.

3 Metodologia

O presente trabalho é definido por uma elaboração de processos de passo a passo iniciando com o dimensionamento e montagem de um sistema fotovoltaico *off grid* aplicado na CTR Caruaru (Central de Tratamento de Resíduos de Caruaru).

Para realizar um sistema fotovoltaico é necessário conhecer algumas características meteorológicas do local que será implementado e o consumo da carga a ser alimentada, pois esses dois fatores influenciam diretamente no projeto para dimensionar o sistema.

Em relação as informações meteorológicas, estas foram obtidas por meio do banco de dados da CRESESB, 2016, (centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de Salvo Brito)

no período do ano de 2016. São consideradas as taxas médias de insolação da cidade de Caruaru em Pernambuco, pois esta localidade tem registro solarimétrico tomada como referência para o estudo.

Para se alcançar os objetivos propostos, o trabalho desenvolverá as seguintes etapas.

Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Determinação do consumo da planta a ser instalada

Identificar níveis de radiação solar da localidade

Dimensionamento do banco de baterias

Modelo do painel fotovoltaico

Relação descritiva dos materiais utilizados

4. Resultados

Na avaliação dos resultados obtidos com a implantação do trabalho desenvolvido, substituindo uma fonte de energia moto gerador a diesel, por um sistema de energia solar fotovoltaico, foram apresentados os resultados dos dimensionamentos e a aplicação no sistema fotovoltaico.

4.1 Resultados do consumo da planta a ser instalada

Para determinar o consumo diário esperado de energia elétrica, foram adotados valores de potências (W), utilização hora/dia (h/dia) e o consumo diário (WH/dia) de cada carga definida, conforme mostra a tabela 1, a seguir.

Tabela 1. Consumo esperado de energia elétrica da balança rodoviária da CTR Caruaru.

Cargas	Potência (W)	Utilização (h/dia)	Energia (WH/dia)
Iluminação 1	18	8	144
Iluminação 2	18	8	144
CPU Balança	70	8	560
Monitor Balança	80	8	640
Módulo Balança	70	8	560
Impressora	80	6	480
Total	336 (W)		2528 (WH/dia)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016

4.2 Resultados Identificação níveis de radiação solar da localidade

Como já foi informado anteriormente, além do conhecimento do consumo diário da carga e da potência instalada, outro dado indispensável são os índices de incidência de radiação solar na localidade onde o sistema será implantado.

O banco de dados da CRESESB, 2016, fornece os índices de radiação para três ângulos diferentes de instalação dos módulos solares, sendo o plano horizontal, para o ângulo de maior média diária de incidência solar. Conforme mostra a tabela 2, a seguir.

Tabela 2. Radiação diária média mensal (kWh/m².dia) Plano Horizontal Caruaru, PE.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Rad	5,8	5,7	5,7	5,2	4,4	4,0	4,0	4,8	5,5	5,8	6,1	5,9	5,9

Fonte: CRESEB, 2016

A Tabela 2 (CRESESB, 2016) mostra que a radiação média anual para a cidade de Caruaru corresponde a 5,9 KWh/m² e uma incidência diária média de 4,0 KWh/m² para o mês de junho, mês com menor incidência solar durante o ano. É importante assinalar que o sistema fotovoltaico deve garantir o fornecimento de energia durante todos os meses do ano. Por essa razão, no dimensionamento do sistema fotovoltaico deve-se considerar o menor índice de radiação durante o ano.

Em relação à tensão de operação do sistema, fixa-se em 24 Volts Vcc em corrente contínua, o fato de reduzir a corrente circulando pelo sistema tem um impacto positivo na eficiência deste sistema, outro benefício é a ampla oferta comercial disponível de inversores que trabalham com esta tensão de entrada (CRESESB, 2016).

O cálculo da capacidade mínima de geração dos módulos fotovoltaicos é determinado por meio da energia solar acumulada durante o dia, na localidade onde o sistema será instalado. Uma forma conveniente de se expressar o valor acumulado desta energia é através do número de horas do sol pleno, esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 KWh/m² de forma que a energia resultante seja equivalente a energia acumulada durante o dia. Pelas razões expostas na seção anterior, utiliza-se para o dimensionamento dos painéis uma taxa diária de insolação de 4,0 KWh/m².

Para a cidade de Caruaru, tem-se que o número de horas de sol pleno (*SP*) é:

$$SP = \frac{4,0KWh/m^2}{1Kw/m^2} = 4,0h$$

Pode-se dizer então que o valor de 4,0 KWh/m² de radiação diária é produzido por 4,0 horas de potência incidente constante é igual a 1000 Watts/m² (condição padrão). Assim, os parâmetros adotados para o cálculo do arranjo de painéis fotovoltaicos e demais componentes do sistema, são evidenciados na tabela 3, a seguir.

Tabela 3. Parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico

Carga instalada	336
Consumo diário de energia	2528
Radiação diária de energia	4,0 KWh/m ²
Tensão de operação do sistema C.C	24 V
Tensão de saída C.A	220 V
Eficiência da fiação	98%
Eficiência do banco de baterias	95%
Eficiência do inversor	85%
Eficiência do conversor C.C	90%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016

Com base nos parâmetros apresentados na tabela 3, calcula-se a potência mínima do arranjo gerador com a equação:

$$P_{min} = \frac{2528 \text{ Wh}}{4,0 \text{ h}} = 632 \text{ W}$$

E a potência mínima corrigida considerando as perdas é:

$$P_{min \text{ Corr}} = \frac{632}{(0,98 \times 0,95 \times 0,85 \times 0,9)} = 887,37$$

Devido as variações das condições climáticas, é necessário que as baterias armazenem energia suficiente, não só para um período noturno, mas também para intervalos maiores com radiação solar abaixo da média. Determina-se então, que o equipamento deva ter uma autonomia de 2 dias (de acordo com a resolução nº 83, de 20 de setembro de 2004 da ANEEL, que determina este valor como mínimo para sistemas de baixo consumo diário) e que, ao voltar de uma condição de máxima descarga, que ele se recarregue completamente em 3 dias normais de sol.

4.3 Resultados dimensionamento do banco de baterias

Para o projeto de banco de baterias, devem também ser considerados dois parâmetros importantes, a autonomia do sistema e o tipo de baterias. A autonomia do sistema corresponde

ao número de dias nos quais a energia armazenada no banco de baterias é suficiente para suprir a demanda sem nenhuma reposição de energia pelos painéis fotovoltaicos (CEPEL - CRESCEB, 2014). Este parâmetro representa a confiabilidade do sistema fotovoltaico, entretanto o aumento do número de dias de autonomia do sistema acarreta em um aumento direto nos custos do banco de baterias e conseqüentemente do sistema.

Assim o consumo diário de corrente da carga é:

$$I_{dia} = \frac{2528 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} = 105,33 \text{ Ah}$$

Então o consumo total de corrente do banco de baterias fica:

$$I_{total} = \frac{\text{consumo Ah (105,33) x autonomia (2 dias)}}{\text{profundidade descarga (0,35)}} = 601,8 \text{ Ah}$$

Foram utilizadas 04 baterias da marca Moura, modelo estacionária, de 150 Ah de capacidade de tensão nominal de 12 volts cada, as quais serão conectadas em série para fornecer a tensão de 24 volts contínuo.

4.4 Modelo do painel fotovoltaico

Nesta fase da instalação faz-se necessário obter um modelo de painel fotovoltaico (Nascimento, 2014) quando os autores apresentam um procedimento para se ajustar os modelos de painéis a módulos comerciais, conforme mostra a tabela 4, a seguir.

Tabela 4. Características do painel solar fotovoltaico 150 Wp – Yingli Solar YL150P

Máxima potência (pm)	150 W
Tolerância	0 / 5 W
Voltagem máxima potência (vm)	18,5 V
Corrente máxima potência (Im)	8,12 A
Voltagem circuito aberto (Voc)	22,9 V
Corrente curto circuito (Isc)	8,61 A
Voltagem máxima no sistema	600 v
Eficiência do painel	15%

Fonte: Neosolar, 2016

4.5 Relação descritiva dos materiais utilizados

Nesta etapa foi definido o modelo do painel fotovoltaico e a relação dos equipamentos e componentes que compõem as instalações aplicadas do sistema fotovoltaico na CTR Caruaru. Central de tratamento de resíduos sólidos de Caruaru, conforme a tabela 5, a seguir.

Tabela 5 - Lista de material utilizado nas instalações do sistema FV

DESCRIPTIVO	QUANTIDADE
PAINEL SOLAR FV - 150 W	6
CONTROLADOR CARGA	1
BATERIA ESTACIONÁRIA 12V 240 Ah	4
INVERSOR CC/CA 24V - 220V 600 W	1
TRILHO ALUMINIO PARA FV 2073mm	4
TERMINAL INTERMEDIÁRIO ALUMINIO	12
TERMINAL FINAL ALUMINIO	12
PARAFUSO PARA TERMINAL	30
PORCA PARA TERMINAL	30
PARAFUSO CABEÇA MARTELO M10 28/15	30
PORCA M10 INOX	30
STRINGBOX	1
CABO SOLAR 4.0 mm ²	30
CONECTORES FÊMEA E MACHO MC4	8
CONECTOR HOOK INOX	8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

4.6 Avaliação dos resultados

Na avaliação dos resultados obtidos com a implantação do trabalho desenvolvido, substituindo uma fonte de energia moto gerador a diesel, por um sistema de energia solar fotovoltaico, são apresentados os valores de investimento aplicados, o *payback* do sistema, qualidade energética e meio ambiente, conforme tabela 6, a seguir.

Tabela 6. Investimento do custo do sistema fotovoltaico

Descrição	Unidade	Quantidade	(R\$) Total
Conjunto fotovoltaico	CJ	1	14.700,00
Baterias 12 volts, 150 Ah	Un	4	4.800
Custos Indiretos (transporte, miscelâneas)	VB	1	1.500,00
			Total R\$ 21.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Antes da implantação desse sistema fotovoltaico havia um custo fixo com despesas do gerador alugado e combustível, conforme a tabela 7, a seguir.

Tabela 7. Despesas custos fixos - mensal

Descrição	Unidade	Quantidade	(R\$) Total
Locação Gerador 55 KVA	PÇ	1	1.600,00
Combustível óleo diesel	L	600	1.800,00
			Total R\$ 3.400,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Baseado nos dados das despesas do custo fixo apresentado, o *payback* deste investimento aconteceria com 06 (seis) meses, considerado um investimento de curto prazo.

5. Conclusão

A aplicação de um sistema fotovoltaico *OFF-GRID* substituindo uma fonte de energia gerador a diesel na CTR – Central de tratamento de resíduos sólidos no município de Caruaru em Pernambuco, foi alcançado através de objetivos específicos como o desenvolvimento do modelo autônomo *OFF-GRID*, a eficiência e eficácia do desenvolvimento do dimensionamento dos componentes, a análise da viabilidade econômica do sistema e da eliminação dos impactos ambientais causados pelo gerador a diesel. Uma fonte de energia renovável passou a fazer parte da funcionalidade dos equipamentos que compõem a balança rodoviária da CTR Caruaru. Este sistema fotovoltaico foi elaborado para que atendesse a demanda de energia consumidora através de uma metodologia aplicada, embasadas nos referenciais teóricos e na execução praticada no local.

Por fim, o resultado atendeu as expectativas desejadas nas quais se podem criar futuros projetos similares em novas unidades, servindo de base para estudos complementares ao estudo realizado.

REFERÊNCIAS

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N°083/2004**. Brasília, 2004.

COPETTI, J.; MACAGNAN, M. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.10f.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. As energias solar e eólica no Brasil. 2013. Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>>. Acesso maio de 2018.

CRESSEB. Centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepal.br>>. Acesso maio de 2018.

DAZCAL, R.; MELLO, A. Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Abenge – Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, 2008.13f.

IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

MESSENGER, R.; VENTRE, J. Photovoltaic Systems Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2010. MPPT SOLA. Construa seu sistema solar fotovoltaico. Disponível em: <<http://www.mpptsolar.com/pt/home.html>>. Acesso em 25 de maio 2018.

NASCIMENTO, C. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. 2011.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel, Cresesb, 2014.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SCHUCH, L. et al. Sistemas Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e Leds. Eletrôn Potên. Campinas, vol. 16, n. 1, p.17-27, fev. 2011.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo, 2012.